

## بهبود دقت واقعیت افزوده با استفاده از تارگت‌ها مطالعه موردی: بصری‌سازی زیرساخت‌های زیرزمینی

مینا کریمی<sup>۱</sup>

ابوالقاسم صادقی نیارکی<sup>۲</sup>

علی حسینی نوه احمدآبادیان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۶/۲۵

\*\*\*\*\*

### چکیده

زیرساخت‌های زیرزمینی شامل برق، گاز، مخابرات، آب و فاضلاب توسط سازمان‌های مرتبط مدیریت و کنترل می‌شوند. در پروژه‌های همراه با حفاری امکان تشخیص اشتباه مکان تأسیسات وجود دارد. بنابراین به منظور جلوگیری از آسیب به زیرساخت‌ها و بروز خسارت‌های مالی و جانی فراوان، بررسی آنها ضروری است. امروزه GIS فراگیرتر و فناوری‌های جدید نظیر واقعیت افزوده می‌توانند به عنوان راه‌حلی نوین برای رفع این مشکل به کار گرفته شوند. به گونه‌ای که بتوان این تأسیسات را در بستر تلفن همراه هوشمند و یا تبلت بصری‌سازی نمود. به دلیل عدم امکان برآورد دقت مورد نیاز (با توجه به قطر لوله‌ها و عرض خیابان‌ها در حد چند سانتی متر) در روش مبتنی بر حسگر، هدف این مقاله ارائه روشی نوین به منظور بهبود دقت واقعیت افزوده است. در روش پیشنهادی، دو روش مبتنی بر حسگر و مبتنی بر دید ترکیب شده و در کاربرد بصری‌سازی تأسیسات زیرزمینی با فناوری واقعیت افزوده آزمایش شده است. در این روش از تارگت‌های کددار و روش ترفیع فضایی به منظور برآورد پارامترهای موقعیت و جهت دوربین استفاده شده است. به منظور دستیابی به مقادیر اولیه مناسب در ترفیع فضایی، از داده‌های سنسورهای GPS، شتاب‌سنج و مغناطیس استفاده شده و بعد از انجام یک فیلتر پایین گذر موقعیت و وضعیت دوربین وارد فرآیند ترفیع فضایی شده است. با توجه به موقعیت و وضعیت بهبود یافته‌ی دوربین در فرآیند ترفیع فضایی، مدل مجازی تولید شده در موقعیت مسطحاتی صحیح خود قرار می‌گیرد. موقعیت مسطحاتی به صورت گرافیکی روی زمین نمایش داده می‌شود و بعد ارتفاعی (عمق) به صورت یک پارامتر توصیفی ارائه می‌گردد. در نهایت هر دو روش با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی و اندازه‌گیری دقیق مبتنی بر اصول فتوگرامتری و ماشین بینایی Agisoft مورد ارزیابی قرار گرفته است. در روش مبتنی بر حسگر متوسط دقت پارامترهای موقعیت برابر با ۴/۲۹۰۸ متر و متوسط دقت پارامترهای جهت برابر با ۶/۱۷۹۶ درجه است، در حالی که در روش مبتنی بر دید متوسط دقت موقعیت برابر ۰/۱۲۲۷ متر و متوسط دقت پارامترهای جهت برابر با ۲/۲۰۱۷ درجه است. بنابراین نتایج بهبود دقت روش پیشنهادی نسبت به روش مبتنی بر حسگر را اثبات می‌کند.

واژه‌های کلیدی: GIS فراگیرتر، واقعیت افزوده، تارگت، بهبود دقت، وضعیت دوربین، زیرساخت‌های زیرزمینی.

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)  
minakarimi@email.kntu.ac.ir

۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. a.sadeghi@kntu.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران hosseinaveh@kntu.ac.ir

## ۱- مقدمه

مهم در زمینه واقعیت افزوده، تشخیص و موقعیت‌یابی اشیاء دنیای واقعی نسبت به سر شخص است (Hoff et al., 1996). دقت تأثیر بسیار مهمی روی قابلیت استفاده دستگاه‌های متحرک در سیستم‌های ردیابی دنیای واقعی را دارد (Blum et al., 2012).

با توجه به قطر لوله‌ها و تأسیسات مدفون و همچنین عرض کم پیاده‌روها و خیابان‌ها، لازم است بصری‌سازی تأسیسات زیرزمینی با فناوری واقعیت افزوده با دقتی در حد سانتی‌متر انجام شود. حسگرهای تلفن‌های همراه نظیر GPS<sup>۴</sup>، شتاب‌سنج، قطب‌نما وژیروسکوپ، دقت مورد نیاز برای این منظور را ندارند (Taketomi et al., 2014). از طرفی ارتقاء این حسگرها و بهبود دقت آنها نیازمند صرف هزینه‌های مالی زیادی است که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. به‌کارگیری روش‌هایی نظیر فیلتر کالمن<sup>۵</sup> و تلفیق حسگرها<sup>۶</sup> نیز اگرچه موجب افزایش دقت حسگرها می‌شود، ولی هنوز برآورده کننده دقت مورد نیاز نیست (Blum et al., 2012). از طرفی روش‌های ماشین بینایی<sup>۷</sup> و مبتنی بر دید<sup>۸</sup> می‌توانند ثبت<sup>۹</sup> دقیق مورد نیاز برای واقعیت افزوده را فراهم کنند و سبب افزایش دقت شوند (Hoff et al., 1996) از آنجایی که محاسبات پردازش روی محیط‌های ناشناخته و اشیاء نامعلوم بسیار سنگین و پرهزینه است، یکی از راهکارهای ساده و مقرون به صرفه در این زمینه، به‌کارگیری تارگت‌ها است. بدین صورت که در محیط از تارگت‌ها به عنوان نشانه‌ها و اشیاء از پیش شناخته شده، استفاده می‌شود. سپس این تارگت‌ها باید با شناسایی شده و به کمک آن وضعیت دوربین برآورد شود. در نهایت مدل مجازی با استفاده از واقعیت افزوده به محیط اضافه گردد.

هدف این مقاله ارائه روشی نوین به منظور بهبود دقت واقعیت افزوده در زیرساخت‌های زیرزمینی شهری است. برای دستیابی به این هدف از تارگت‌ها که یکی از روش‌های

زیرساخت‌های زیرزمینی شامل برق، گاز، مخابرات، آب و فاضلاب توسط سازمان‌های مختلف مدیریت و کنترل می‌شوند. در پروژه‌های همراه با حفاری، پیاده‌سازی‌ها ممکن است به کابل‌های زیرزمینی، لوله‌ها یا وسیله‌ها آسیب برساند. این حفاری‌های اشتباه در بسیاری از موارد موجب آسیب به زیرساخت‌ها و بروز خسارت‌های مالی و جانی فراوان می‌شود (Schall, 2009). بنابراین بررسی آنها و ارائه روش‌هایی به منظور جلوگیری از حفاری‌های اشتباه و کاهش خسارت‌های ناشی از آن ضروری به نظر می‌رسد.

ایده رایانش فراگستر<sup>۱</sup> که نخستین بار توسط آقای مارک وایزر مطرح شد (Weiser, 2002)، امروزه موجب تحول سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS<sup>۲</sup>) در ابعاد مختلفی شده است. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تحول یافته توسط رایانش فراگستر، در زمینه بصری‌سازی و نمایش داده‌ها است (Mekni & Lemieux, 2014). اطلاعات محیطی به عنوان ایده اولیه غنی‌سازی محیط با فناوری‌های هوشمند، باید حساس، واکنش‌گرا، وفق‌پذیر، شفاف، فراگستر و هوشمند باشد. در میان این فناوری‌های هوشمند، تلفن‌های همراه هوشمند به دلیل افزایش کاربرد و استفاده در زندگی روزانه افراد، تا به حال جایگاه ویژه‌ای را داشته و نقش مهمی را ایفا کرده‌اند (Mourcou et al., 2015). امروزه پیشرفت‌های روزافزونی در زمینه سخت‌افزار و نرم‌افزار تلفن‌های همراه هوشمند صورت گرفته است. این دستگاه‌ها به عنوان ابزاری رایج امکان دستیابی به هر نوع اطلاعات را در هر مکان و هر زمان، توسط هر کاربر فراهم کرده‌اند (Blum et al., 2012).

واقعیت افزوده (AR<sup>۳</sup>) یکی از فناوری‌های مورد استفاده رایانش فراگستر است که می‌تواند به منظور بصری‌سازی و نمایش بهتر زیرساخت‌های زیرزمینی به کار گرفته شود (Marchand et al., 2016) و تجزیه و تحلیل‌های GIS ای روی آنها صورت گیرد (Mekni & Lemieux, 2014). یکی از مسائل

4- Global Positioning System

5- Kalman Filter

6- Sensor Fusion

7- Computer Vision

8- Vision-based

9- Registration

1- Ubiquitous Computing

2- Geospatial Information Systems

3- Augmented Reality

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )  
بهبود دقت واقعیت افزوده با استفاده از تارگت‌ها ... / ۷۷

گرافیکی نمایش داده شده است و پارامتر ارتفاعی (عمق) به صورت ویژگی و پارامتر توصیفی ارائه می‌شود. ساختار مقاله پیش‌رو به این صورت است: در ادامه‌ی مقدمه، به مرور تحقیقات پیشین پرداخته شده است. بخش ۲ راینش فراگستر و مفاهیم مرتبط با آن از جمله واقعیت افزوده را بیان می‌کند. در بخش ۳ روش پیشنهادی ارائه شده است. در بخش ۴ پیاده سازی و نتایج این روش بیان شده است. در بخش ۵ به ارزیابی روش پیشنهادی پرداخته شده است. در نهایت در بخش ۶ نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات آتی تحقیق ارائه شده است.

در زمینه واقعیت افزوده تحقیقات مختلفی انجام شده است. Zollmann و همکاران از AR برای بصری‌سازی تأسیسات در محل به منظور بازرسی محلی استفاده کردند (Zollmann et al., 2012).

Schall و همکاران فناوری واقعیت افزوده دستی را برای بصری‌سازی ویژگی‌های هندسی و معنایی مدل‌های سه‌بعدی مکانی در دستگاه‌های دستی و به منظور بازرسی در محل و برنامه‌ریزی به کار بردند. آنها به توسعه AR در یک سیستم واقعیت افزوده دستی به نام Vidente پرداختند (Schall et al., 2009). در هیچ یک از این تحقیقات از تارگت‌ها استفاده نشده است. از اینرو، دقت روش‌های پیشنهادی وابسته به دقت حسگرهای دستگاه مورد استفاده است. Rekimoto در سال ۱۹۹۸ از تارگت‌های کددار در واقعیت افزوده استفاده کرد. سیستم ایشان که Matrix نام داشت یکی از سیستم‌های پیشگام در این زمینه بود (Rekimoto, 1998) و بعداً با نام CyberCode در سال ۲۰۰۰ جایگزین شد (Rekimoto, 2000). روش مطرح شده توسط وی یک بارکد مربعی شکل را به کار می‌گیرد و می‌تواند تعداد زیادی شیء را شناسایی کند (در حدود شیء). همچنین به عنوان یک لندمارک برای ثبت اطلاعات در دنیای واقعی عمل می‌کند و سیستم مختصات آنها را برآورد می‌کند (Rekimoto, 1998).

Maide و همکاران یک الگوریتم آنی و دقیق ترازبایی بر اساس تارگت‌های کددار مربعی ارائه کردند و پارامترهای

ساده در ماشین بینایی و روش‌های مبتنی بر دید می‌باشد، استفاده شده است. در حقیقت برای نخستین بار نوع خاصی از تارگت‌ها به نام تارگت‌های کددار به منظور بهبود دقت واقعیت افزوده به کار گرفته شده است. سپس روش پیشنهادی در کاربرد بصری‌سازی زیرساخت‌های زیرزمینی با کمک واقعیت افزوده استفاده و ارزیابی شده است. بدین منظور پارامترهای توجیه خارجی دوربین از تلفیق دو روش مبتنی بر حسگر و مبتنی بر دید با استفاده از تارگت‌ها برآورد می‌شود.

این روش علاوه بر بهره‌مندی از نقاط قوت روش مبتنی بر دید، سعی در کاهش نقاط ضعف روش مبتنی بر حسگر دارد. روش پیشنهادی می‌تواند دقت بصری‌سازی زیرساخت‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد. همچنین مقایسه و ارزیابی بین روش مبتنی بر حسگر و روش مبتنی بر دید در کاربرد بصری‌سازی زیرساخت‌ها با واقعیت افزوده صورت گرفته است.

لازم به ذکر است که در این مقاله مختصات زمینی تارگت‌های کددار معلوم فرض شده است. برای این کار روش‌های مختلفی وجود دارد از جمله: استفاده از فتوگرامتری هوایی و پهباد (پرواز UAV)، GPS دستی، GPS تک فرکانسه و یا RTK GPS دو فرکانسه. مختصات زمینی تارگت‌ها نباید روی دقت تأثیر بگذارد، به عبارتی دقت تعیین موقعیت توسط دوربین باید مستقل از دقت مختصات زمینی تارگت‌ها باشد، زیرا در فرآیند ترفیع فضایی مختصات زمینی تارگت‌ها به عنوان ورودی و مقداری ثابت در نظر گرفته می‌شود. بنابراین باید به طور مجزا از فرآیند تعیین وضعیت دوربین، به صورت دقیق محاسبه شوند. برای محاسبه در این تحقیق از روش RTK GPS استفاده شده است، زیرا دسترسی به روش UAV وجود نداشته و نسبت به دو روش دیگر دقت بیشتری دارد. همچنین دقت هر سه پارامتر موقعیت شامل دو پارامتر مسطحاتی و یک پارامتر ارتفاعی بررسی شده و با توجه به روش پیشنهادی بهبود یافته است ولی فقط پارامترهای مسطحاتی به صورت

مورد استفاده در برنامه‌های واقعیت افزوده انجام دادند. هر یک از این SDKها از تارگت‌های خاص خود استفاده می‌کند. در روش آنها مقایسه بین تارگت‌های به کار برده شده صورت نگرفته و تنها به نوع تارگت مورد استفاده در هر SDK اشاره شده است (Amin & Govilkar, 2015).

Lee و همکاران نیز از تارگت‌های دست ساز خود برای همپوشانی مدل‌های سه بعدی حیوانات بر روی تارگت‌های تعریف شده کاربر استفاده نمودند (Lee et al., 2014).

Swan و همکاران با استفاده از تارگت‌ها به اطلاعات عمق در یک برنامه واقعیت افزوده دست یافتند (Swan et al., 2015). در هیچ یک از تحقیقات پیشین مقایسه‌ای بین انواع روش‌های مورد استفاده در بصری‌سازی تأسیسات زیرزمینی با واقعیت افزوده صورت نگرفته است. در حالی که در این تحقیق دو روش بررسی و مقایسه شده‌اند.

## ۲- رایانش فراگستر

ایده رایانش فراگستر مارک وایزر امروزه موجب تحول GIS در ابعاد مختلفی شده است. او بر این باور بود که فناوری‌های کامپیوتری آینده به سمتی حرکت می‌کنند که در محیط‌ها و اشیاء پیرامون بشر موجود و قابل دسترس بوده و افراد را در فعالیت‌های روزمره یاری خواهند نمود. همچنین جهان را به گونه‌ای تصور کرد که در آن رایانه‌هایی که در تمام محیط جاسازی<sup>۵</sup> شده‌اند، می‌توانند از دید کاربران پنهان باشند (Weiser, 2002).

در ایده رایانش غیر محسوس او می‌توان به هر کاربر در هر زمان و هر مکان، با بهره‌گیری از هر نوع سرویسی و در هر شبکه‌ای، هر نوع خدماتی را ارائه داد (Li, 2007). یک محیط فراگستر در محدوده بین دنیای واقعی و دنیای مجازی قرار دارد (Garson et al., 1992). در نگاره ۱ یک محیط فراگستر، رابط کاربری واقعیت افزوده و جایگاه حسگرها در آن نشان داده شده است.

وضعیت دوربین را با استفاده از روشی ترکیبی و یک روش مستقیم با کمک فیلتر کالمن محاسبه نمودند. در نهایت این الگوریتم را در برنامه کاربردی واقعیت افزوده به کار بردند (Maidi et al., 2010). تارگت‌های به کار رفته در این روش‌ها مرعبی است که فرآیند بازشناسی پیچیده‌تری دارد.

در زمینه برآورد وضعیت دوربین که در واقعیت افزوده اهمیت فراوانی دارد، مطالعات مختلفی صورت گرفته است. Miyano و همکاران وضعیت دوربین را در کاربرد واقعیت افزوده بررسی کردند.

آنها ابتدا از سنسورهای شتاب‌سنج و مغناطیس‌سنج برای برآورد اولیه استفاده کرده و سپس وضعیت دقیق را از طریق تناظریابی میان جفت تصاویر اخذشده با مجموعه‌ای از تصاویر مرجع ایجاد شده توسط تصاویر پانوراما<sup>۱</sup>، محاسبه می‌کنند (Miyano et al., 2012).

Greenfield و همکاران از تلفیق روش‌های تحلیلی و فیلتر کالمن توسعه یافته برای برآورد وضعیت دوربین استفاده کردند. زیرا یکی از نقاط ضعف فیلتر کالمن تخمین اولیه است که می‌توان آن را با استفاده از روش‌های تحلیلی به دست آورد. آنها همچنین روش‌های تخمین وضعیت دوربین را به دو دسته تعاملی<sup>۲</sup> و تحلیلی<sup>۳</sup> تقسیم نمودند. دسته اول دقیق‌تر است ولی هزینه محاسباتی زیادی دارد. دسته دوم سریع‌تر است ولی دقت کمتری دارد (Greenfield, 2006).

Taketomi و همکاران روشی را برای برآورد وضعیت دوربین تحت تغییر پارامترهای ذاتی<sup>۴</sup> دوربین در واقعیت افزوده مطرح کردند. آنها با استفاده از یک چهارچوب حداقل سازی انرژی، پارامترهای داخلی و خارجی دوربین را برآورد کردند (Taketomi et al., 2014). در هیچ یک از این تحقیقات از تارگت‌ها برای تعیین وضعیت دوربین استفاده نشده است.

اخیراً Amin و همکاران مقایسه‌ای روی انواع SDKهای

1- Panorama

2- Iterative

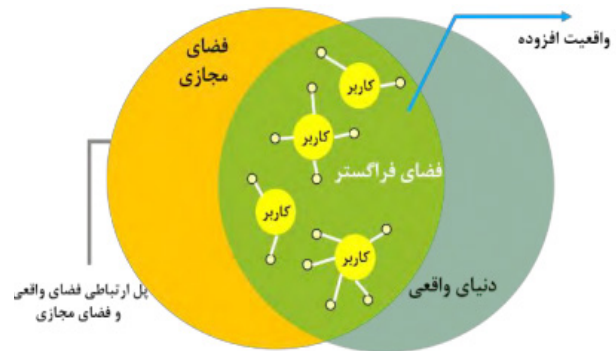
3- Analytical

4- Intrinsic

5- Embedded

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )  
 بهبود دقت واقعیت افزوده با استفاده از تارگت‌ها ... / ۷۹

و هر مکان دسترسی به داده برای کاربر به محض تقاضای داده است. این ویژگی و سایر مؤلفه‌های تلفن همراه نظیر محیط آگاهی، امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و غیره می‌تواند برای ایجاد یک محیط فراگستر استفاده شود. نگاره ۲ ویژگی‌های سیستم اطلاعات مکانی فراگستر را نشان می‌دهد.



۱-۲- واقعیت افزوده

در روش‌های نوین بصری‌سازی، به کاهش حجم فضای مدل‌سازی شده توجه می‌شود. در واقع به جای مدل‌سازی تمام محیط، تنها بخشی از محیط که متناسب با نیاز کاربر هستند، مدل‌سازی و نمایش داده می‌شوند (Greenfield, 2006). فناوری واقعیت افزوده یکی از روش‌های کارآمد در این زمینه به شمار می‌آید. واقعیت افزوده اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط Tom Cuadell هنگامی که بر روی پروژه‌ای روی سیاتل آمریکا کار می‌کرد، استفاده شد (Caudell & Mizell, 1992). واقعیت افزوده تکنیکی است که می‌تواند دنیای واقعی و مجازی را تلفیق کند (Greenfield, 2006).

Azuma سه نیاز و ویژگی در برنامه‌های کاربردی AR را به صورت زیر خلاصه می‌کند (Azuma, 1997):

- ترکیب دنیای واقعی با دنیای مجازی
- تعامل‌پذیری در لحظه و بلادرنگ
- ثبت و نمایش در سه بعد

در گذشته‌ای نه چندان دور واقعیت افزوده یک فناوری آزمایشی به حساب می‌آمد که به ندرت از آزمایشگاه خارج می‌شد و ساخت برنامه‌های جدید نیازمند سطح بالایی از تجربه فنی و معلومات بود. امروزه به دلیل پیشرفت‌های اخیر در صنعت سخت‌افزار تلفن‌های همراه، فناوری واقعیت افزوده به راحتی هم در اختیار توسعه‌دهندگان و هم در اختیار کاربران قرار دارد (Butchart, 2011). افزایش قدرت پردازش و دارا بودن ابزارهایی مانند ژيروسکوپ، شتاب‌سنج و قطب‌نما در این دستگاه‌ها حضور چنین برنامه‌هایی را فراهم آورده است. استفاده از دوربین تلفن همراه و دیگر حسگرهای موجود در آن به همراه صفحه نمایش موجود

نگاره ۱: محیط فراگستر، رابط کاربری واقعیت افزوده و جایگاه حسگرها در آن (Garson et al., 1992)

از آنجا که حدود ۸۰ درصد از اطلاعات موجود در دنیای واقعی ماهیت مکانی دارند (Hunter, 2000)، GIS نیز متأثر از رویکردهای رایانش فراگستر متحول شده است. این تحول از فرآیند اخذ و جمع‌آوری و پردازش داده تا نمایش و بصری‌سازی داده‌ها به وجود آمده است. GIS فراگستر را می‌توان نسل جدیدی از GIS دانست که با بهره‌گیری از رایانش فراگستر، توانسته مفاهیم بسیار جدید و ارزشمندی را ایجاد نماید (Azuma, 1997).



نگاره ۲: ویژگی‌های GIS فراگستر (Azuma, 1997) واقعیت افزوده

ظهور تلفن‌های هوشمند سبب ورود سیستم‌های فراگستر به زندگی انسان‌ها شده است. مفهوم واژه هر زمان



بنابراین تخمین پارامترهای دوربین می‌تواند به دو شیوه انجام شود: با فرض معلوم بودن پارامترهای داخلی و یا با مجهول در نظر گرفتن آنها (Greenfield, 2006).

در AR به دلیل متحرک بودن دوربین، الگوریتم‌هایی که غیرتعاملی<sup>۴</sup> هستند و به مقیاردی اولیه نیازی ندارند، مناسب‌تر هستند (Siltanen, 2012). به صورت کلی روش‌های تخمین وضعیت دوربین و ردیابی را می‌توان به دو دسته مبتنی بر حسگر و مبتنی بر دید تقسیم نمود. روش‌های ترکیبی نیز می‌توانند به کار گرفته شوند.

## ۲-۲- واقعیت افزوده مبتنی بر حسگرها

در این شیوه، از حسگرهایی که درون دستگاه‌ها تعبیه شده استفاده می‌شود. لازم نیست حسگرها به نوع بصری<sup>۵</sup> مجهز باشند، ولی باید شامل مادون قرمز<sup>۶</sup> و فراصوت<sup>۷</sup> باشند (Hoff et al., 1996). حسگرها به گونه‌ای در محیط جاسازی شده‌اند<sup>۸</sup> و یا در ابزارهایی چون تلفن‌های هوشمند به کار گرفته شده‌اند که از دید کاربر مخفی ولی عامل اصلی در تعامل کاربر با محیط واقعیت افزوده هستند (Blum et al., 2012). حسگرهای متفاوت، مشخصات متفاوتی از موقعیت شیء را در اختیار قرار می‌دهند به عنوان مثال GPS موقعیت شیء، شتاب‌سنج میزان کج شدن<sup>۹</sup> و قطب‌نما جهت<sup>۱۰</sup> را می‌دهند (Maidi et al., 2010).

اگرچه به کارگیری این حسگرها نیازمند استفاده از روش‌های پردازش تصاویر و ماشین بینایی نیست و دارای سرعت بیشتری است، ولی دقت مورد نیاز برای کاربرد موردنظر را ندارد (Blum et al., 2012). وابستگی برنامه‌های کاربردی واقعیت افزوده به GPS تلفن همراه و سایر حسگرها، حساس بودن قطب‌نما به اشیاء فلزی اطراف آن

بر روی دستگاه امکانات مناسبی برای تولید برنامه‌های واقعیت افزوده ایجاد کرده‌اند که همین امر موجب افزایش فعالیت در این زمینه شده است (Schall et al., 2005). درحقیقت مزیت اصلی این سیستم‌ها این است که تمام وسایل مورد نیاز را در خود دارند و نیازی به خرید دستگاه‌هایی همانند HMD<sup>۱</sup>های گران قیمت و اضافه کردن آن در این دستگاه‌ها نیست (Karimi et al., 2017; Schall et al., 2005).

برنامه‌های واقعیت افزوده نیاز دارند بدانند کاربر کجاست و به چه چیزی نگاه می‌کند. در نتیجه در عمل سیستم نیاز دارد تا موقعیت (طول و عرض جغرافیایی) و جهت دوربین را تشخیص دهد (Blum et al., 2012). ردیابی و مدل‌سازی دو مورد از ضروریات برای ایجاد و آزمایش برنامه‌های کاربردی واقعیت افزوده مکان آگاه<sup>۲</sup> هستند (Uchiyama & Marchand, 2012). واقعیت افزوده می‌تواند به دو طریق پیاده‌سازی شود: واقعیت افزوده مبتنی بر حسگرها<sup>۳</sup> و واقعیت افزوده مبتنی بر دید. در سیستم‌های واقعیت افزوده برای تلفیق بصری شیء مجازی به صحنه واقعی، نیاز است وضعیت دوربین دستگاه نسبت به صحنه مشخص باشد (Ansar & Daniilidis, 2003; Miyano et al., 2012).

برآورد وضعیت دوربین یک گام مهم در تعیین نقطه دید کاربر در برنامه‌های کاربردی واقعیت افزوده است. بخش ردیابی مهمترین بخش یک سیستم AR است. برای این منظور مجموعه‌ای از نقاط دوبعدی و متناظرهای سه‌بعدی آنها ضروری است (Maidi et al., 2010). روش‌هایی که برای برآورد پارامترهای دوربین به کار می‌روند، می‌توانند به دو دسته تقسیم شوند: روش‌های برآورد پارامترهای داخلی دوربین شامل فاصله کانونی، مرکز تصویر و اعوجاج عدسی. روش‌های برآورد پارامترهای خارجی دوربین شامل موقعیت و جهت دوربین (Greenfield, 2006). در بیشتر کاربردهای AR، پارامترهای داخلی دوربین قبل از شروع فرآیند برآورد پارامترهای خارجی، ثابت و کالیبره هستند،

4- Non-iterative

5- Visual

6- Infrared

7- Ultrasound

8- Embedded

9- Tilt

10- Bearing

1- Head Mounted Display

2- Location-aware

3- Sensor-based

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )  
 بهبود دقت واقعیت افزوده با استفاده از تارگت‌ها ... / ۸۱

Azuma پیشنهاد می‌کند پیش‌بینی با کمک حسگرهای اینرسی<sup>۱</sup> خطا را ۲-۳ مرتبه نسبت به حالتی که از آنها استفاده نشود، و ۵-۱۰ مرتبه نسبت به حالتی که از هیچ پیش‌بینی استفاده نشود، کاهش می‌دهد (Hoff et al., 1996).

۲-۳- واقعیت افزوده مبتنی دید

همانگونه که اشاره شد، روش‌های ماشین بینایی و مبتنی بر دید، می‌توانند دقت موردنیاز برای فرآیند ثبت در واقعیت افزوده را فراهم کنند. روش‌های مبتنی بر دید زیادی به منظور برآورد پارامترهای دوربین در زمینه AR و ماشین بینایی مطرح شده‌اند (Greenfield, 2006). این شیوه برخلاف شیوه قبلی از حسگرها استفاده نکرده و به جای آنها الگوریتم‌ها و روش‌های پردازش تصاویر و ماشین بینایی را به کار می‌گیرد. در واقعیت افزوده ویدئویی شفاف<sup>۲</sup>، روش‌های مبتنی بر تصویر<sup>۳</sup> در برآورد وضعیت دوربین به منظور افزودن اشیاء مجازی به دنیای واقعی به کاربرده شده‌اند (Greenfield, 2006).

AR در این حالت نیازمند برآورد یک وضعیت پایدار و سریع با استفاده از تارگت‌های کم است (Sittanen, 2012). در اکثر سیستم‌های واقعیت افزوده دوربین بخشی از سیستم است، ردیابی با استفاده از تصویر از اهمیت بالایی برخوردار است. در ردیابی با استفاده از تصویر سیستم موقعیت دوربین را بر حسب چیزی که از دوربین مشاهده می‌شود محاسبه می‌کند. در یک محیط نا آشنا این امر بسیار دشوار خواهد بود و مدت زمانی طول می‌کشد تا دوربین بتواند به قدر کافی برای محاسبه موقعیت دوربین اطلاعات جمع کند (Ahn et al., 2001). در نتیجه سیستم به راحتی در زمان جابجا می‌شود. بعلاوه پیدا کردن نسبت ابعاد صحیح تنها بر حسب تصویر دوربین امکان‌پذیر نیست. یک راه حل برای مشکل بالا این است که تصویری که به راحتی قابل شناسایی است و از قبل تعریف شده را در محیط قرار داده و

و غیره، از جمله محدودیت‌های این روش به شمار می‌آیند. به کارگیری فیلتر کالمن می‌تواند در حذف نویز داده‌های دریافتی حسگرها مؤثر باشد. می‌توان با استفاده از روش تلفیق حسگرها نیز دقت این روش را افزایش داد (Schall et al., 2009). در نگاه ۳ اطلاعات مختلف توسط حسگرهای تلفن همراه نشان داده شده است. این اطلاعات برای همه انواع گوشی‌های هوشمند صدق کرده و به همین صورت است.

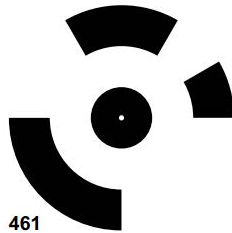


نگاره ۳: نمایشی از اطلاعات دریافتی توسط حسگرها

روش‌های مبتنی بر حسگرها، از جمله محبوب‌ترین روش‌هایی هستند (Taketomi et al., 2014) که از حسگرهای موقعیت از جمله GPS و حسگرهای IMU نظیر شتاب‌سنج، قطب‌نما وژیروسکوپ، حسگرهای مبتنی بر دید نظیر دوربین، حسگرهای صوتی نظیر Ultrasonic و UWB و طیف گسترده‌ای از انواع حسگرها استفاده می‌کنند. این روش‌ها سریع و کارآمد بوده و اگر چه پردازش پیچیده‌ای ندارند و ساده‌اند ولی دقیق نیستند (Taketomi et al., 2014). در واقع اگرچه در موقعیت‌های مختلف زمانی نظیر شب و روز و همچنین در فواصل مختلف کارایی مناسبی دارند ولی دقت آنها از روش‌های مبتنی بر دید کمتر است. همچنین تلفن‌های همراه به انواع مختلف نویز حساس هستند که این مسئله اندازه‌گیری‌های حسگرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سیستم‌های مبتنی بر حسگرها، می‌توان از روش‌های ترکیب داده‌های خام حاصل، استفاده کرد و دقت آنها را تا حد مطلوبی ارتقا داد (Mourcou et al., 2015).

1- Inertial  
 2- See-through  
 3- Image-based

پایدارتری نسبت به نویز فراهم می‌کنند (Fraser, 1997). تارگت‌های کددار دایره‌ای، به دلیل شناسایی آسان‌تر در این تحقیق به کار گرفته شده‌اند. نگاره ۴ نمونه‌ای از تارگت‌های کددار دایره‌ای را نشان می‌دهد.



461

نگاره ۴: نمونه‌ای از تارگت کددار مورد استفاده

در نگاره ۵ ساختار کلی روش پیشنهادی در سه سطح ارائه شده است:

**لایه داده:** در این لایه داده‌های زیرساخت‌های سازمان‌های مختلف وارد پایگاه داده اصلی می‌شود و به صورت یکپارچه نگهداری می‌گردد.

**لایه منطق برنامه:** در این لایه ابتدا یک پایگاه داده محیط آگاه از اطلاعات حسگرهای تلفن همراه شامل GPS، شتاب‌سنج و مغناطیس‌سنج و همچنین تارگت‌های کددار ایجاد می‌شوند. این تارگت‌ها اطراف شیء مورد نظر در دنیای واقعی چیده می‌شوند، به گونه‌ای که در هر فریم دوربین حداقل چهار تارگت به طور واضح و کامل قابل شناسایی باشد.

در این تحقیق مطابق بسیاری از برنامه‌های واقعیت افزوده، پارامترهای توجیه داخلی دوربین ثابت فرض شده‌اند. برای تعیین پارامترهای کالیبراسیون دوربین، از صفحات استاندارد شطرنجی به نام Checkboard و برنامه GML Camera Calibration استفاده شده است.

بدین صورت که با دوربین تلفن همراه از این صفحه شطرنجی چندین عکس در حالت‌های مختلف با موقعیت ثابت دوربین و موقعیت متحرک تارگت گرفته، سپس این عکس‌ها را وارد برنامه کرده و پارامترهای داخلی دوربین

از تکنیک‌های تصویری به منظور شناسایی آن استفاده شود. یک نشانه چنین تصویر یا علامتی است که یک سیستم رایانه‌ای می‌تواند آن را در یک تصویر با استفاده از پردازش تصویر، یافتن الگو و تکنیک‌های رایانه‌ای پیدا کند. وقتی که این نشانه پیدا شد می‌تواند موقعیت دوربین و ابعاد مناسب را مشخص کند. به این روش تعقیب با استفاده از نشانه‌ها گفته می‌شود و به گستردگی در صنعت واقعیت افزوده مورد استفاده است (Ahn et al., 2001).

روش‌های مبتنی بر دید بر مبنای تصاویر اخذ شده از دوربین عمل می‌کنند، تخمین وضعیت پایدارتری از دوربین می‌دهند و دقیق‌تر هستند ولی برای محیط‌هایی که عوارض محلی و نقاط مورد توجه (POI) کمی دارند، مناسب نیستند (Taketomi et al., 2014). به طور کلی تشخیص شیء مبتنی بر مدل از طریق ماشین بینایی شامل: استخراج عوارض از تصویر، یافتن تناظرها بین عوارض تصویری و عوارض روی یک مدل شیء و شناسایی وضعیت شیء از تناظرهای حاصل است (Hoff et al., 1996).

### ۳- راهکار پیشنهادی در بصری‌سازی زیرساخت‌ها

همان‌طور که اشاره شد به دلیل ضعف حسگرها در برآورد کردن دقت مورد نیاز برای نمایش زیرساخت‌ها، در این مقاله از روش‌های ماشین بینایی و مبتنی بر دید به منظور بهبود دقت واقعیت افزوده استفاده شده است. امروزه استفاده از تارگت‌های کددار در تناظریابی خودکار بدون خطا و اندازه‌گیری نقاط تصویری دقیق به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داشته است (Pagani et al., 2011).

این تارگت‌ها می‌توانند به دو صورت دایره‌ای و مربعی باشند. اگرچه بیشتر روش‌ها و سیستم‌های نشانه‌دار از نشانه‌های مربعی استفاده می‌کنند (Fraser, 1997)، اما از آنجایی که دایره‌ها به صورت بیضی تصویر می‌شوند (Ahn et al., 2001). تارگت‌های دایره‌ای می‌توانند به صورت خودکار و نسبتاً آسان در تصاویر شناسایی شوند و برآورد وضعیت

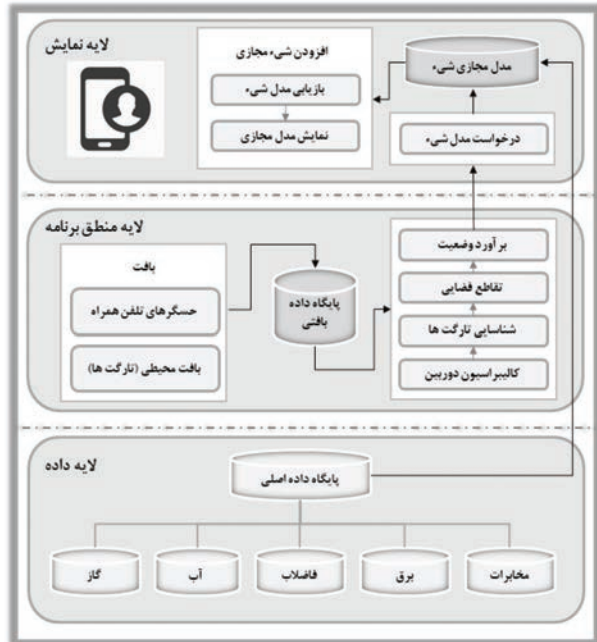
1- Marker-based Tracking

2- Point of Interest



فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )  
 بهبود دقت واقعیت افزوده با استفاده از تارگت‌ها ... / ۸۳

واقعی اضافه شده و در مکان صحیح خود در دنیای واقعی نمایش داده، شده است.



نگاره ۵ : راهکار پیشنهادی برای بهبود دقت واقعیت افزوده

۴- پیاده‌سازی و نتایج

در این بخش نحوه پیاده‌سازی راهکار پیشنهادی بیان شده است. این برنامه کاربردی و رابط کاربری مبتنی بر واقعیت افزوده در بستر زبان برنامه‌نویسی اندروید و در محیط توسعه یکپارچه eclipse (IDE<sup>۲</sup>) و روی تلفن همراه Samsung Galaxy S4 با استفاده از هر دو روش مبتنی بر حسگر و مبتنی بر دید پیاده‌سازی و امتحان شده است. مشخصات تلفن همراه در جدول ۱ بیان شده است. از کتابخانه OpenGL ES 2.0 به منظور ایجاد مدل سه‌بعدی و ساخت صحنه<sup>۳</sup> در واقعیت افزوده استفاده شده است. برای شناسایی خودکار تارگت‌های کددار در این مقاله و نیز شناسایی بیضی و تعیین مرکز آن با استفاده از روش برازش بیضی با کمک تبدیل هاف، کتابخانه OpenCV 2.4.10 به کار گرفته شده است. همچنین از تارگت‌های کددار دایره‌ای به

شامل فاصله کانونی و اعوجاجات عدسی به عنوان خروجی برنامه دریافت شده است (Gupta et al., 2014).

پس از فرآیند کالیبراسیون دوربین، لازم است مراکز این تارگت‌ها به منظور برآورد وضعیت دوربین مختصات دهی شوند. بنابراین باید این تارگت‌ها به صورت خودکار شناسایی شوند. روش‌های مختلفی برای اینکار وجود دارد که به دو دسته روش‌های مبتنی بر ناحیه و روش‌های مبتنی بر لبه تقسیم می‌شوند.

در این مقاله از روش‌های مبتنی بر لبه که منجر به برازش بهترین بیضی می‌شود، استفاده شده است (Xu et al., 2002). روش برازش بیضی با کمک تبدیل هاف<sup>۱</sup> یکی از بهترین روش‌ها برای یافتن بیضی در تصویر است و در این مقاله استفاده گردیده است. مرکز بیضی در این حالت همان مرکز تارگت خواهد بود. در این تحقیق، از ارائه جزئیات روش پیشنهادی در بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار صرف نظر شده است. در نهایت از این طریق مختصات عکسی این تارگت‌ها محاسبه می‌شود.

سپس لازم است مختصات زمینی این تارگت‌ها با دقت مناسبی به دست آید. بدین منظور یک شبکه محلی از تارگت‌ها را در نظر گرفته و با تعیین ایستگاه و قرائت نقاط توسط GPS دقیق و دستگاه توتال استیشن، موقعیت زمینی این نقاط محاسبه می‌شود. حال با داشتن مختصات عکسی و زمینی چهار نقطه می‌توان با استفاده از ترفیع فضایی به موقعیت دوربین دست یافت.

از طرفی با استفاده از حسگرهای تلفن همراه شامل GPS، تلفیق شتاب‌سنج و مغناطیس‌سنج و اعمال فیلتر پایین‌گذر، پارامترهای اولیه وضعیت دوربین برای به کارگیری ترفیع فضایی محاسبه شده و در فرآیند ترفیع پارامترهای نهایی سرشکن شده و وضعیت دوربین برآورد می‌شود.

لایه نمایش: در این لایه با توجه به پارامترهای بهبودیافته وضعیت دوربین، مدل مجازی ایجاد شده توسط رایانه که به شکل یک مستطیل برای نمایش لوله طراحی شده، به دنیای

2- Integrated Development Environment

3- Scene

1- Hough transform

افزوده مختصات دوربین در سیستم مختصات جهانی نیاز است. بنابراین ابتدا تبدیل مختصات داده‌های GPS از سیستم مختصات جغرافیایی به مختصات UTM انجام می‌گیرد. همچنین به دلیل دقت بیشتری که ترکیب داده‌های حسگرهای شتاب‌سنج و مغناطیس فراهم می‌کند و امکان تبدیل آنها به مختصات جهانی با استفاده از ماتریس دوران وجود دارد، از این حسگرها برای تعیین پارامترهای دورانی و جهت دوربین استفاده شده است. این حسگرها پارامترهای دورانی را در سیستم مختصات حسگر و یا تلفن همراه می‌دهند، درحالی‌که برای واقعیت افزوده این پارامترها باید در سیستم مختصات جهانی معلوم باشند. این تبدیلات با استفاده از ماتریس دوران در کتابخانه OpenGL انجام می‌شود. در ادامه با اعمال فیلتر پایین‌گذر، مقدار کمی از نویز و خطا کاسته می‌شود. سپس با مشخص شدن سه پارامتر موقعیت و سه پارامتر جهت دوربین، می‌توان محتوای مجازی را در مکان صحیح خود در دنیای واقعی اضافه کرد.

در روش مبتنی بر دید، پارامترهای وضعیت دوربین با استفاده از تارگت‌های چیده شده در محیط به دست می‌آیند. بدین صورت که تعدادی تارگت در محیط قرار داده می‌شود، به طوری که در هر فریم دوربین حداقل چهار تارگت قابل رؤیت و شناسایی باشند. سپس با استفاده از روش‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر این تارگت‌ها به صورت خودکار در عکس شناسایی شده و کد آنها مشخص می‌شود. با این روش مختصات عکسی تارگت‌ها در سیستم ماشین بینایی به دست می‌آید. در حالی که برای فرآیند ترفیع فضایی لازم است این مختصات با استفاده از تبدیل کانفرمال به مختصات در سیستم مختصات عکسی تبدیل شوند.

مقادیر اولیه پارامترهای خارجی دوربین در فرآیند ترفیع فضایی لازم است، این مقادیر با استفاده از مقادیری که حسگرها در اختیار می‌گذارند و مشابه روش مبتنی بر حسگر به دست می‌آیند. سپس خروجی ترفیع فضایی که پارامترهای سرشکن شده وضعیت دوربین هستند، برای برقراری ارتباط بین دوربین مجازی و دوربین واقعی و

عنوان تارگت‌های مناسب برای این کاربرد استفاده شده است که برآورد وضعیت با تعداد چهار تارگت هم دقت مناسب و هم سرعت خوبی را فراهم می‌کند. در ادامه پس از شناسایی تارگت‌ها، با استفاده از روش برازش بیضی با کمک تبدیل هاف، بیضی تارگت موردنظر در تصویر مشخص شده و مرکز بیضی به عنوان مرکز تارگت به دست می‌آید.

#### جدول ۱: مشخصات تلفن همراه Galaxy S4

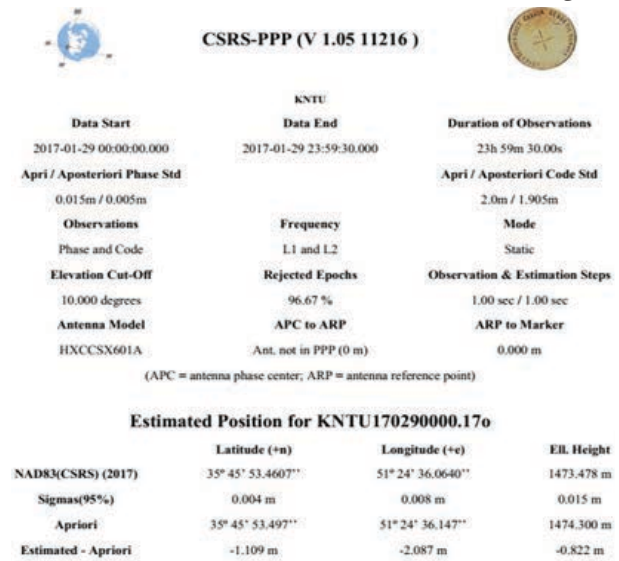
نام	Samsung Galaxy S4
سیستم عامل	اندروید
پردازنده	Adreno 330
قدرت تفکیک دوربین	۱۶ مگاپیکسل
نوع عدسی	CMOS
A-GPS	دارد
گیرنده GNSS	U-blox 6N
پلت فرم ثابت	دارد

همانطور که در مقدمه اشاره شد، در این مقاله مختصات زمینی تارگت‌های کددار معلوم فرض شده است. برای این کار روش‌های مختلفی وجود دارد از جمله استفاده از فتوگرامتری هوایی و پهباد (پرواز UAV)، GPS دستی، GPS تک فرکانسه و یا RTK GPS دو فرکانسه. از آنجایی که مختصات زمینی تارگت‌ها نباید روی دقت تأثیر بگذارد و همچنین در دسترس نبودن روش UAV، از روش RTK GPS استفاده شده است. از روش RTK GPS نمی‌توان برای خود تأسیسات استفاده نمود، زیرا اولاً موقعیت تأسیسات روی زمین مشخص نیست، ثانیاً فرآیند RTK به صورت بلادرنگ موقعیت را نمی‌دهد و نیاز به پیش‌پردازش در نرم‌افزار دارد. بنابراین نمی‌تواند مستقیماً برای تعیین موقعیت تأسیسات استفاده شود و برای تعیین موقعیت بلادرنگ بهتر است از موقعیت تارگت‌ها استفاده شود.

در روش مبتنی بر حسگر، از حسگرهای جاسازی شده در تلفن همراه استفاده شد. حسگر GPS موقعیت تلفن همراه را در قالب مختصات طول و عرض جغرافیایی ارائه می‌کند، درحالی‌که در برنامه‌های کاربردی مبتنی بر واقعیت

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )**  
 بهبود دقت واقعیت افزوده با استفاده از تارگت‌ها ... / ۸۵

داده‌های آلمانک در آن روز، برای سایت nrcan فرستاده شده است. در ادامه با استفاده از داده‌های دریافتی، مختصات نقطه KNTU و دو ایستگاه برداشت شده با استفاده از روش تعیین موقعیت نقطه‌ای دقیق (PPP<sup>۱</sup>) محاسبه و به عنوان نقطه کنترل در نرم‌افزار LGO (Leica Geo Office) وارد شده است. بدین طریق با استفاده از یک خط پایه<sup>۲</sup> (خط واصل بین دو تارگت) و نقطه KNTU شبکه بسته شده و مختصات در سیستم مختصات بیضوی محاسبه و سرشکن می‌شود. در زمان پردازش، داده‌های ماهواره‌هایی که منجر به خطای زیاد می‌شوند، حذف می‌شود. به منظور تعیین مختصات دو نقطه دیگر، با استفاده از دوربین توتال و قرار دادن آن در یک نقطه، به سمت هر چهار نقطه قرائت انجام شده و ابتدا مختصات هر چهار تارگت در سیستم مختصات محلی و سپس مختصات زمینی تارگت‌ها از طریق بستن شبکه در نرم‌افزار LGO محاسبه و سرشکن شده است. بدین طریق مختصات زمینی تارگت‌ها با دقت یک سانتی‌متر به دست می‌آید. در نگاره ۷ دقت مؤلفه‌های مسطحاتی و ارتفاعی در تعیین موقعیت ارائه شده است.



CSRS-PPP (V 1.05 11216)			
<b>Data Start</b>	<b>KNTU Data End</b>	<b>Duration of Observations</b>	
2017-01-29 00:00:00.000	2017-01-29 23:59:30.000	23h 59m 30.00s	
<b>Apri / A Posteriori Phase Std</b>	<b>Observations</b>	<b>Apri / A Posteriori Code Std</b>	<b>Mode</b>
0.015m / 0.005m	Phase and Code	2.0m / 1.905m	Static
<b>Elevation Cut-Off</b>	<b>Rejected Epochs</b>	<b>Observation &amp; Estimation Steps</b>	
10.000 degrees	96.67 %	1.00 sec / 1.00 sec	
<b>Antenna Model</b>	<b>APC to ARP</b>	<b>ARP to Marker</b>	
HXCCSX601A	Ant. not in PPP (0 m)	0.000 m	
(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)			
Estimated Position for KNTU170290000.170			
	Latitude (+n)	Longitude (+e)	ELL Height
NAD83(CSRS) (2017)	35° 45' 53.4607"	51° 24' 36.0640"	1473.478 m
Sigmas(95%)	0.004 m	0.008 m	0.015 m
Apriori	35° 45' 53.497"	51° 24' 36.147"	1474.300 m
Estimated - Apriori	-1.109 m	-2.087 m	-0.822 m

نگاره ۷: دقت مؤلفه‌های مسطحاتی و ارتفاعی در تعیین موقعیت با استفاده از GPS دو فرکانسه

1- Precise Point Positioning  
 2- Base Line

افزودن شیء مجازی به دنیای واقعی استفاده شده است. نگاره ۶ رابط کاربری طراحی شده را نشان می‌دهد.



نگاره ۶: رابط کاربری طراحی شده مبتنی بر واقعیت افزوده

روش پیشنهادی در محوطه باز دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه خواجه نصیر در سطح زمین و به دور از موانعی مثل دیوار و ستون، آزمایش شده است تا از تأثیر این عوامل روی دقت چشم‌پوشی شود و دقت روش مبتنی بر حسگر به دلیل دید ضعیف ماهواره‌ها پایین نباشد (DOP بالا). در محوطه باز و به دور از چاله بوده است. توپوگرافی محدوده تقریباً هموار بوده و اختلاف ارتفاع محدوده قابل چشم‌پوشی است. در محل مورد مطالعه هیچ ستونی وجود ندارد و بنابراین قابلیت دید محدوده از زوایای مختلف تغییر نمی‌کند. برای استفاده از این روش باید حداقل چهار تارگت شناسایی شود. برای آزمایش روش پیشنهادی، چهار تارگت کددار با شماره‌های ۵، ۷، ۹، ۴ و ۷ روی یک ناحیه قرار داده شده و در دو ایستگاه (تارگت ۵ و ۷) با استفاده از دو GPS دو فرکانسه مدل Trimble 5700 و Trimble 5800 به مدت یک شبانه روز با نرخ دو ثانیه مختصات برداشت شده است. سپس داده‌های این نقاط و نقطه KNTU دانشکده نقشه‌برداری با استفاده از تاریخ و ساعت برداشت و نیز

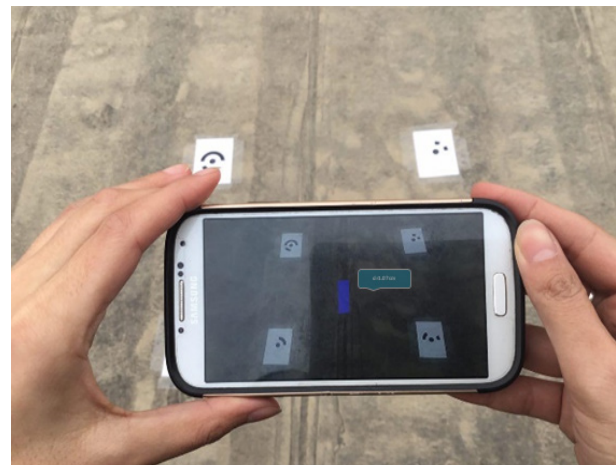
### ۵- ارزیابی

در این بخش لازم است کارایی روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گیرد. ارزیابی در دو بخش انجام می‌شود. در بخش اول کارایی روش پیشنهادی در بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار شامل تعیین مختصات مرکز تارگت‌ها و بازشناسی کد آنها، از طریق مقایسه با نرم‌افزار Agisoft بررسی و ارزیابی شده است. در این مقایسه عکسبرداری از تارگت‌ها در شرایط مختلف نظیر تغییر مقیاس، فاصله، دوران و زوایای فرود مختلف انجام شده است. منظور از زاویه فرود، زاویه عکسبرداری با خط قائم بر صفحه تارگت‌ها (زمین) است. برای این منظور در ۶ زاویه فرود ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه نسبت به مرکز صفحه و خط قائم بر آن در محیط دارای نویز، از فواصل مختلف عکسبرداری انجام شد و با استفاده از روش پیشنهادی مراکز و کد تارگت‌ها به صورت خودکار تعیین گردید. سپس عملکرد روش پیشنهادی با نرم‌افزار Agisoft با حد آستانه ۵۰ و ۱۰۰ در دو حالت بازشناسی صحیح تارگت‌ها و نیز بازشناسی نادرست آنها مقایسه گردید. نتایج به ترتیب در نگاره‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. برای نمونه در زاویه فرود ۴۵ درجه، روش پیشنهادی مراکز تمامی تارگت‌ها را به درستی تعیین کرده است، درحالی که میزان شناسایی مراکز در نرم‌افزار Agisoft در حد آستانه‌های ۵۰ و ۱۰۰ به ترتیب برابر ۸۸/۳۳٪ و ۶۶/۶۷٪ است. همچنین در این زاویه روش پیشنهادی مرکز هیچ تارگتی را به اشتباه بازشناسی نکرده است، در حالی که نرم‌افزار Agisoft در هر دو حد آستانه ۸/۳۳٪ خطا داشته است. روش پیشنهادی حتی در زوایای فرود نسبتاً زیاد نظیر ۷۵ درجه بهتر از Agisoft عمل می‌کند.

در بخش دوم ارزیابی، نتایج هر دو روش مبتنی بر حسگر و مبتنی بر دید (استفاده از تارگت‌ها) در برآورد وضعیت دوربین و بصری‌سازی زیرساخت‌ها مقایسه شده است. همچنین این نتایج با استفاده از نرم افزار Agisoft

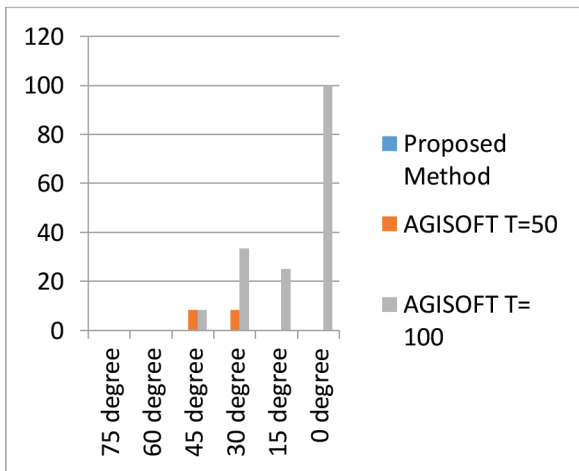
در ادامه با استفاده از برنامه کاربردی واقعیت افزوده، پارامترهای وضعیت دوربین از هر دو روش مبتنی بر حسگر و مبتنی بر دید به دست می‌آید. در نهایت با استفاده از این شش پارامتر بردار بالای دوربین و بردار نشانه‌روی مشخص می‌شود. در هر دو روش بعد از محاسبه این بردارها، مدل مجازی (مستطیل)، در مکان صحیح خود در دنیای واقعی قرار می‌گیرد.

این مستطیل در نواحی که لوله عبور کرده باشد، دیده شده و در سایر نواحی دیده نمی‌شود. بررسی و آزمون‌ها بر روی ۸ وضعیت مختلف انجام شده و هر وضعیت نسبت به وضعیت قبلی در حدود ۴۵ درجه زاویه دارد. افزایش تعداد وضعیت‌ها و کاهش زوایای چرخشی تأثیری در قابلیت دید محدوده، شناسایی خودکار تارگت‌ها و بنابراین برآورد وضعیت دوربین ندارد. پیاده‌سازی و آزمایش الگوریتم و همچنین محاسبات AR و تحلیل خطاها در شرایط برداشت بلادرنگ بوده است تنها تعیین مختصات زمینی تارگت‌ها به صورت آفلاین و پیش پردازش قبل از انجام AR به دست آمده است. نگاره ۸ نتایج حاصل از نمایش زیرساخت را با استفاده از روش پیشنهادی نشان می‌دهد. موقعیت مسطحاتی به صورت گرافیکی و عمق به صورت پارامتر توصیفی ارائه شده است.

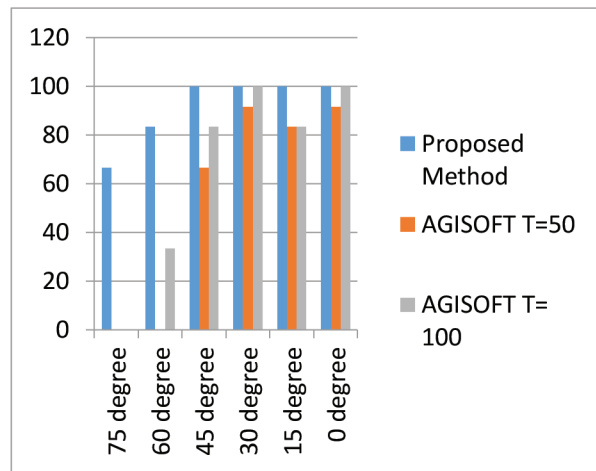


نگاره ۸: نتایج حاصل از نمایش زیرساخت با استفاده از روش پیشنهادی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)  
 بهبود دقت واقعیت افزوده با استفاده از تارگت‌ها ... / ۸۷

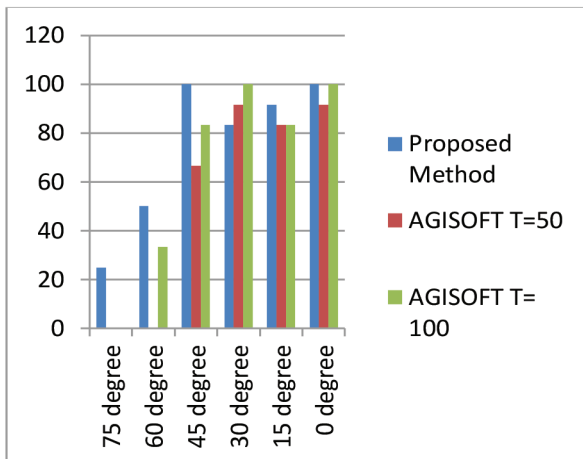


(ب)

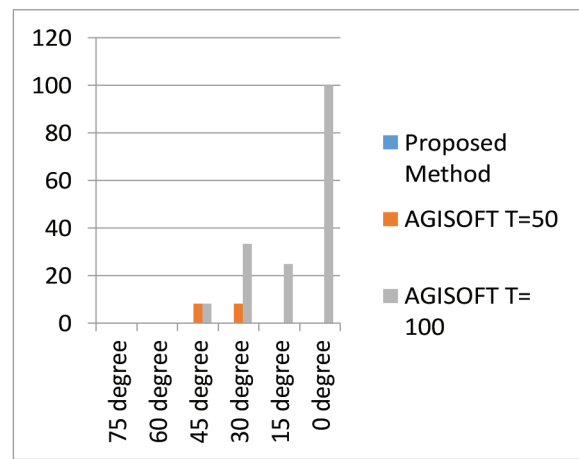


(الف)

نگاره ۹: درصد تعیین مراکز تارگت‌ها از روش پیشنهادی و Agisoft (الف: صحیح، ب) اشتباه



(ب)



(الف)

نگاره ۱۰: درصد بازشناسی کد تارگت‌ها از روش پیشنهادی و Agisoft (الف: صحیح، ب) اشتباه

مختصاتی برحسب متر و  $\Delta \omega$ ،  $\Delta \phi$  و  $\Delta \alpha$  اختلاف‌های زاویه‌ای برحسب درجه هستند.

نتایج نشان می‌دهد روش مبتنی بر حسگر روش دقیقی نیست و خطای بسیار زیادی دارد. این مقدار در مؤلفه‌های موقعیت بین ۱-۱۶ متر (به‌طورمتوسط  $3/951 \pm 4/2908$  متر) و در مؤلفه‌های دورانی ۳-۱۰ درجه (به‌طور متوسط  $1/478 \pm 6/1796$  درجه) خطا دارد. عدد اول مقدار میانگین و عدد دوم انحراف معیار را بیان می‌کند. بنابراین، این روش برای کاربرد بصری‌سازی تأسیسات به دلیل عدم برآورد دقت موردنیاز مناسب نیست. در جدول ۳ نیز اختلاف

ارزیابی شده است. همانطور که در بخش قبل اشاره شد، تارگت‌ها روی زمین و در اطراف تأسیسات موردنظر چیده شد. سپس روش پیشنهادی در بصری‌سازی زیرساخت‌ها در ۸ وضعیت مختلف که هر وضعیت نسبت به وضعیت قبلی در حدود ۴۵ درجه زاویه دارد، اجرا شد. در ادامه بررسی و آزمون‌ها بر روی این ۸ وضعیت مختلف انجام شد. در جدول ۲ اختلاف پارامترهای وضعیت دوربین محاسبه شده از روش مبتنی بر حسگر با نرم‌افزار Agisoft ارائه شده است. در این جدول هر سطر نشان‌دهنده یک وضعیت عکسبرداری است،  $\Delta X$ ،  $\Delta Y$  و  $\Delta Z$  اختلاف‌های



جدول ۲: اختلاف موقعیت روش مبتنی بر حسگر با نرم افزار Agisoft

$\Delta \alpha$ (°)	$\Delta \varphi$ (°)	$\Delta \omega$ (°)	$\Delta Z$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X$ (m)	
۵/۹۸	۵/۲۸	۳/۶۵	۵/۶۸۱۸	۲/۷۵۰۳	۵/۶۸۸۹	۱
۶/۴۷	-۵/۸۹	۶/۷۳	۵/۶۱۰۹	۲/۷۲۶۸۰	۵/۶۵۴۷	۲
۷/۹۷	۴/۵۹	-۵/۳۶	۱/۲۲۷۹	-۰/۶۳۱۲	۵/۸۸۴۲	۳
۵/۷۱	۶/۹۹	۳/۱۸	-۴/۸۴۴۶	-۴/۸۴۷۸	۰/۱۸۰۴	۴
-۶/۶۰	۶/۵۲	۸/۲۸	-۱/۴۹۹۱	-۶/۹۵۰۸	-۲/۴۳۱۶	۵
۹/۷۴	۵/۸۶	۵/۳۵	-۳/۶۲۶۹	-۶/۷۰۹۰	۰/۵۱۴۳	۶
۵/۹۱	-۷/۳۹	۵/۶۷	۰/۹۳۳۳	-۳/۳۹۴۰	۱۶/۶۶۵۶	۷
۴/۶۳	۸/۴۷	-۶/۰۹	-۱۲/۰۷۴۱	-۹/۷۲۵۲	-۲/۴۵۰۷	۸
۱/۵۷۱ ± ۶/۶۲۶۲۵	۱/۲۳۷ ± ۶/۳۷۳۷۵	۱/۶۲۶ ± ۵/۵۳۸۷۵	۳/۶۵۱ ± ۴/۴۳۷۳	۲/۹۳۵ ± ۳/۵۰۱۲	۵/۲۶۷ ± ۴/۹۳۳۸	
۶/۱۷۹۶ ± ۱/۴۷۸			۴/۲۹۰۸ ± ۳/۹۵۱			میانگین

جدول ۳: اختلاف موقعیت روش مبتنی بر دید با نرم افزار Agisoft

$\Delta \alpha$ (°)	$\Delta \varphi$ (°)	$\Delta \omega$ (°)	$\Delta Z$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X$ (m)	
۲/۸۰	۲/۱۲	۱/۵۶	۰/۱۵۰	۰/۱۲۶	۰/۱۳۳	۱
۲/۷۴	۱/۹۸	۳/۵۳	۰/۱۰۱	۰/۰۷۴	۰/۰۹۶	۲
۲/۰۵	۲/۸۸	۲/۲۹	۰/۱۶۵	۰/۱۱۵	۰/۱۱۲	۳
۱/۱۷	۲/۰۹	۲/۱۸	۰/۱۷۳	۰/۱۰۷	۰/۱۴۰	۴
۲/۱۶	۲/۲۵	۱/۸۲	۰/۱۹۲	۰/۱۲۴	۰/۱۵۶	۵
۲/۴۴	۱/۸۳	۲/۳۳	۰/۰۹۸	۰/۰۵۴	۰/۰۸۷	۶
۱/۸۱	۲/۳۹	۲/۶۷	۰/۱۳۶	۰/۰۸۹	۰/۱۹۳	۷
۲/۲۶	۲/۴۷	۱/۰۲	۰/۱۲۴	۰/۰۹۵	۰/۱۰۸	۸
۰/۵۲۷ ± ۲/۱۷۹	۰/۳۲۹ ± ۲/۲۵۱	۰/۷۵۲ ± ۲/۱۷۵	۰/۳۳۹ ± ۰/۱۴۲	۰/۳۷۴ ± ۰/۰۹۸	۰/۲۶۲ ± ۰/۱۲۸	
۲/۲۰۱۷ ± ۰/۵۴۶			۰/۱۲۲۷ ± ۰/۳۲۵			میانگین

روش دقیق‌تری است و خطای بسیار کمتری دارد. مقادیر خطا در مؤلفه‌های موقعیت بین ۵-۲۰ سانتیمتر (به طور متوسط  $۰/۳۲۵ \pm ۰/۱۲۲۷$  متر) و در مؤلفه‌های دورانی بین ۱-۳ درجه (به طور متوسط  $۰/۵۳۶ \pm ۲/۲۰۱۷$  درجه) است. بنابراین به کارگیری روش مبتنی بر دید برای کاربرد بصری‌سازی زیرساخت‌ها مناسب است. البته این خطاها به

پارامترهای وضعیت دوربین محاسبه شده از روش مبتنی بر دید با نرم افزار Agisoft ارائه شده است. در این جدول نیز هر سطر نشان‌دهنده یک وضعیت عکسبرداری است،  $\Delta Y$ ،  $\Delta X$  و  $\Delta Z$  اختلاف‌های مختصاتی برحسب متر و  $\Delta \varphi$ ،  $\Delta \omega$  و  $\Delta \alpha$  اختلاف‌های زاویه‌ای برحسب درجه هستند. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد روش مبتنی بر دید

فضایی به دست آمد.

مقادیر اولیه این پارامترها از طریق حسگرهای تلفن همراه شامل GPS و تلفیق حسگرهای شتاب‌سنج و مغناطیس‌سنج و پس از اعمال فیلتر پایین گذر به دست آمد. سپس مقادیر نهایی در فرآیند ترفیع فضایی سرشکن شد. در نهایت مدل مجازی تولید شده توسط کامپیوتر و با استفاده از کتابخانه OpenGL به دنیای واقعی اضافه شد. در واقع در این مقاله از روش تلفیقی واقعیت افزوده مبتنی بر حسگرها و واقعیت افزوده مبتنی بر دید استفاده شد. در روش مبتنی بر حسگر متوسط دقت پارامترهای موقعیت برابر با  $4/2908$  متر و متوسط دقت پارامترهای جهت برابر با  $6/1796$  درجه محاسبه شد، در حالی که در روش مبتنی بر دید متوسط دقت موقعیت برابر  $0/1227$  متر و متوسط دقت پارامترهای جهت برابر با  $2/2017$  درجه به دست آمد. بنابراین نتایج بهبود دقت را با استفاده از روش پیشنهادی اثبات می‌کند.

از آنجایی که برای حفاری بعد سوم و دقت ارتفاعی به اندازه سایر مؤلفه‌ها مهم است، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی این مؤلفه فقط به صورت ویژگی توصیفی نباشد و در نمایش در نظر گرفته شود.

بصری‌سازی به صورت سه‌بعدی انجام شود. همچنین تعداد و پراکندگی نقاط کنترل و چک بسیار مهم است. مسلماً هرچه تعداد نقاط کنترل بیشتر باشد، نتایج با دقت بیشتری سرشکن شده و مختصات دقیق‌تر به دست می‌آیند ولی به همان میزان پیچیدگی مسئله افزایش و سرعت محاسبه کاهش می‌یابد.

این مسئله می‌تواند منجر به از دست رفتن زمان و عدم تعیین موقعیت آنی شود. می‌توان در کل محدوده مورد آزمون با فواصل مشخص و یا حتی غیر مشخص تارگت چید و روش را آزمایش نمود. از طرفی فاصله نقاط کنترل از شیء مورد نظر (تأسیسات) مهم است زیرا با دور شدن از نقاط کنترل، خطا افزایش می‌یابد. در این تحقیق کافی است در هر دید از دورین حداقل چهار تارگت قابل

دلیل آنکه مقادیر اولیه نسبتاً غیردقیقی از حسگرهای تلفن همراه به عنوان ورودی وارد ترفیع فضایی می‌شود، طبیعی است و با مقادیر اولیه دقیق‌تر این خطا کاهش پیدا می‌کند. خطای پارامترهای توجیه خارجی برای هر دو روش مبتنی بر حسگر و مبتنی بر دید به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. از آنجایی که هدف این مقاله دقت اندازه‌گیری و یا مشاهده تأسیسات به صورت آنی می‌باشد و با یک عکس در هر لحظه نمی‌توان موقعیت سه بعدی شیء را بازسازی نمود، ارزیابی خطای تعیین موقعیت در صفحه‌ای دوبعدی موازی صفحه تصویر روی شیء انجام شده است. بدین صورت که با توجه به فاصله عکسی و زمینی تارگت‌ها مقیاس عکس به دست می‌آید. سپس با توجه به میزان خطای عکسی، خطای زمینی افزودن مدل مجازی به دنیای واقعی محاسبه می‌شود. این خطا به طور متوسط برابر  $0/021 \pm 0/134$  متر است.

## ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

واقعیت افزوده از جمله فناوری‌هایی است که می‌تواند در بصری‌سازی تأسیسات زیرزمینی استفاده شود. استفاده از روش‌های مبتنی بر حسگرها اگرچه دارای سرعت کافی است و این روش‌ها، پردازش‌های ساده‌ای دارند ولی دقت مورد نیاز برای این منظور را ندارند. با وجود اینکه به کارگیری فیلتر کالمن در حذف نویز و روش‌های تلفیق حسگرها موجب افزایش دقت می‌شود، ولی همچنان دقت موردنیاز را برآورد نمی‌کنند.

هدف این مقاله بهبود دقت واقعیت افزوده با استفاده از تارگت‌ها در زیرساخت‌های زیرزمینی بود. این مقاله نشان داد به کارگیری روش‌های ماشین بینایی و مبتنی بر دید موجب افزایش دقت می‌شود. در این مقاله با قراردادن تارگت‌های کددار دایره‌ای در محیط و اطراف شیء موردنظر و شناسایی خودکار آنها در تصاویر در کتابخانه OpenCV و برازش بیضی، پارامترهای وضعیت دوربین که شامل شش پارامتر موقعیت و جهت دوربین است، از روش ترفیع

Proceedings of the twenty-fifth Hawaii international conference on system sciences (Vol. 2, pp. 659-669). IEEE.

8. Fraser, C. J. T. P. R. (1997). Innovations in automation for vision metrology systems. 15(90), 901-911.

9. Garson, G. D., Biggs, R. S., & Biggs, R. S. (1992). Analytic mapping and geographic databases: Sage.

10. Greenfield, A. (2006). Everyware: The Dawning Age of Ubiquitous Computer. In: Berkeley: New Riders, AIGA, EUA.

11. Gupta, S., Lohani, B. J. I. A. o. t. P., Remote Sensing, & Sciences, S. I. (2014). Augmented reality system using lidar point cloud data for displaying dimensional information of objects on mobile phones. 2(5), 153.

12. Hoff, W. A., Nguyen, K., & Lyon, T. (1996). Computer-vision-based registration techniques for augmented reality. Paper presented at the Intelligent Robots and Computer Vision XV: Algorithms, Techniques, Active Vision, and Materials Handling.

13. Hunter, A. (2000). The road to ubiquitous geographic information systems roam anywhere-Remain connected.

14. Karimi, M., Sadeghi Niaraki, A., & Hosseininaveh Ahmadabadian, A. J. G. E. J. (2017). Overview of Role of Ubiquitous GIS in Urban Underground Infrastructure Management. 8(1), 59-69.

15. Lee, Y., Choi, J. J. I. j. o. m., & engineering, u. (2014). Tideland Animal AR: Superimposing 3D Animal Models to User Defined Targets for Augmented Reality Game. 9(4), 343-348.

16. Li, K. J. N. d. C., Pusan National University, Yongsan. (2007). Ubiquitous GIS.

17. Maida, M., Ababsa, F., Mallem, M. J. E. J. o. I., & Processing, V. (2010). Handling occlusions for robust augmented reality systems. 2010(1), 146123.

18. Marchand, E., Uchiyama, H., Spindler, F. J. I. t. o. v., & graphics, c. (2016). Pose estimation for augmented reality: a hands-on survey. 22(12), 2633-2651.

19. Mekni, M., & Lemieux, A. J. A. C. S. (2014). Augmented reality: Applications, challenges and future trends. 205-214.

20. Miyano, R., Inoue, T., Minagawa, T., Uematsu, Y., & Saito, H. (2012). Camera pose estimation of a smartphone

شناسایی باشند. بنابراین جایابی و چیدمان این تارگت‌ها اهمیت می‌یابد. از آنجایی که هدف این مقاله نحوه جایابی این تارگت‌ها نیست، این موضوع به عنوان پیشنهادی آتی تحقیق می‌تواند بررسی شود.

در صورت امکان در تحقیقات آتی از نسل‌های آخر تلفن‌های همراه هوشمند و یا تبلت‌های موجود در بازار استفاده شود. اصولاً روش مبتنی بر دید دقت بالاتری از حسگرها دارد ولی نیاز به نقاط کنترل برای توجیه مطلق دارد. از طرفی در حالت توجیه آنی و بلادرنگ دوربین، تضمین مشاهده نقاط کنترل کافی امری بسیار محدود کننده و شاید بتوان گفت که غیر اجرایی است. بنابراین موضوع حفظ توجیه مطلق شبکه در حالتی که تعدادی از تارگت‌ها از محدوده تصویر خارج می‌گردد، به عنوان تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

#### منابع و مأخذ

1. Ahn, S. J., Rauh, W., & Kim, S. I. J. I. J. o. P. R. A. I. (2001). Circular coded target for automation of optical 3D-measurement and camera calibration. 15(06), 905-919.

2. Amin, D., & Govilkar, S. J. I. J. o. C. S. (2015). Comparative study of augmented reality SDKs. 5(1), 11-26.

3. Ansar, A., & Daniilidis, K. J. I. T. o. P. A. M. I. (2003). Linear pose estimation from points or lines. 25(5), 578-589.

4. Azuma, R. T. J. P. T. V. E. (1997). A survey of augmented reality. 6(4), 355-385.

5. Blum, J. R., Greencorn, D. G., & Cooperstock, J. R. (2012). Smartphone sensor reliability for augmented reality applications. Paper presented at the International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services.

6. Butchart, B. (2011). Augmented reality for smartphones.

7. Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992, January). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )  
بهبود دقت واقعیت افزوده با استفاده از تارگت‌ها ... / ۹۱

approaches. Paper presented at the 18th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV).  
32. Weiser, M. J. I. p. c. (2002). The computer for the 21st century. 1(1), 19-25.  
33. Zollmann, S., Schall, G., Junghanns, S., & Reitmayr, G. (2012). Comprehensible and interactive visualizations of GIS data in augmented reality. Paper presented at the International Symposium on Visual Computing.34.

at a field without interest points. Paper presented at the Asian Conference on Computer Vision.

21. Mourcou, Q., Fleury, A., Franco, C., Klopčič, F., & Vuillerme, N. J. S. (2015). Performance evaluation of smartphone inertial sensors measurement for range of motion. 15(9), 23168-23187.

22. Pagani, A., Koehler, J., & Stricker, D. (2011). Circular markers for camera pose estimation.

23. Rekimoto, J. (1998). Matrix: A realtime object identification and registration method for augmented reality. Paper presented at the Proceedings. 3rd Asia Pacific Computer Human Interaction (Cat. No. 98EX110).

24. Rekimoto, J., & Ayatsuka, Y. (2000). CyberCode: designing augmented reality environments with visual tags. Paper presented at the Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments.

25. Schall, G. (2009). Handheld augmented reality in civil engineering. Paper presented at the 4th Conference on Computer Image Processing and its Application in Slovenia 2009 (ROSUS 2009).

26. Schall, G., Mendez, E., Kruijff, E., Veas, E., Junghanns, S., Reiting, B., . . . computing, u. (2009). Handheld augmented reality for underground infrastructure visualization. 13(4), 281-291.

27. Schall, G., Newman, J., & Schmalstieg, D. (2005). Rapid and accurate deployment of fiducial markers for augmented reality. Paper presented at the Proc. 10 th Computer Vision Winter Workshop (CVWW 2005). <http://www.icg.tu-graz.ac.at/pub/pubobjects/schall05cvww> [2005].

28. Siltanen, S. (2012). Theory and applications of marker-based augmented reality: VTT.

29. Swan, J. E., Singh, G., Ellis, S. R. J. I. t. o. v., & graphics, c. (2015). Matching and reaching depth judgments with real and augmented reality targets. 21(11), 1289-1298.

30. Taketomi, T., Okada, K., Yamamoto, G., Miyazaki, J., Kato, H. J. C., & Graphics. (2014). Camera pose estimation under dynamic intrinsic parameter change for augmented reality. 44, 11-19.

31. Uchiyama, H., & Marchand, E. (2012). Object detection and pose tracking for augmented reality: Recent

